

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 703 777

(21) N° d'enregistrement national :

93 04051

(51) Int Cl⁵ : G 01 J 3/18//G 21 K 1/06

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 06.04.93.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : 14.10.94 Bulletin 94/41.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

(71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE Etablissement de Caractère Scientifique,
Technique et Industriel — FR.

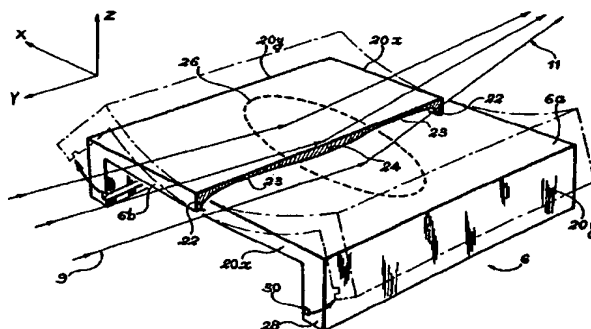
(72) Inventeur(s) : Ferrer Jean-Luc et Roth Michel.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Brevatome.

(54) **Lame à rayon de courbure réglable et monochromateur utilisant cette lame.**

(57) L'invention concerne une lame à surface rectangulaire (6a) comportant une partie massive (6) déformable, destinée à être courbée sous forme d'une portion de cylindre à axe de révolution orienté selon une première direction (Y) comportant une face concave (6a) et une face convexe (6b), deux bords opposés (20x) de la partie massive, orientés selon une seconde direction (X) orthogonale à la première direction, étant pourvus chacun sur toute leur longueur et sur la face convexe d'une nervure (22), afin d'éviter une déformation anticlastique de la partie massive selon la seconde direction lorsqu'on courbe la lame.



FR 2 703 777 - A1



BEST AVAILABLE COPY

**INSTRUMENT A RAYON DE COURBURE REGLABLE ET MONOCHROMATEUR
UTILISANT CETTE LAME**

DESCRIPTION

5 La présente invention a pour objet une lame déformable sous forme d'une portion de cylindre de rayon de courbure réglable. Cette lame est plus spécialement destinée à être utilisée en optique, notamment comme miroir ou dans un monochromateur
10 servant à sélectionner une longueur d'onde dans un faisceau intense polychromatique ; ce faisceau peut être un faisceau de lumière ultraviolette, un faisceau de rayons X, un faisceau laser, ou encore un faisceau de neutrons.

15 Plus particulièrement, ce faisceau de particules est du type rayonnement synchrotron issu des aimants de courbure ou des éléments d'insertion d'un anneau de stockage de particules. Ces faisceaux sont utilisés pour des expériences très variées, allant de
20 l'étude de la structure des matériaux à celle des molécules biologiques.

 Pour toutes ces applications, une mise en forme du faisceau de rayonnement synchrotron est nécessaire. Ceci est réalisé par un ensemble d'éléments
25 optiques de très grande précision dont la succession constitue ce qu'on appelle une "ligne de lumière". En particulier, certains de ces éléments effectuent, grâce à la forme de leur face utile (dont la normale est orientée selon une direction Z), une focalisation du
30 faisceau de particules.

 A cet effet, il convient d'imposer une courbure ($C_S = 1/R_S$ avec R_S le rayon de courbure) à ces éléments selon une direction déterminée. Ainsi, ces derniers présentent un profil cylindrique dont l'axe de

révolution correspondant est orienté selon une direction Y, qui est la projection sur un plan de l'élément de la direction de propagation du faisceau à focaliser.

5 Dans les monochromateurs, on utilise des cristaux par exemple de silicium courbés en vue de réfléchir dans une direction bien déterminée une seule longueur d'onde du faisceau de particules polychromatique incident. Dans ces cristaux, la
10 réflexion, ou plutôt la diffraction du faisceau par le cristal courbé, a lieu sur le plan cristallin du cristal et non sur la surface physique de la lame.

Pour cette raison, et parce qu'on souhaite également modifier la courbure du cristal, on ne peut
15 pas avoir recours à un cristal préalablement usiné ou rigidement maintenu selon le profil voulu, mais seulement à une lame initialement plate que l'on courbe plus ou moins.

Malheureusement, dans ces conditions, le
20 faisceau de particules est altéré par une déformation parasite du cristal.

En effet, dans une lame plate ayant une largeur et une longueur du même ordre de grandeur, la courbure que l'on impose induit une déformation
25 parasite de la lame qui se traduit par une courbure opposée ($C_a = -1/R_a$ avec R_a le rayon de courbure) dans la direction X perpendiculaire à la direction Y, le plan XY étant parallèle à la lame, conduisant à une forme en "selle de cheval". Cette déformation parasite est dite
30 anticlastique.

Le document (1) Int. J. Solids Structures, 1970, vol. 6, pp.277-285 de R.J. Pomeroy, "The effect of anticlastic bending on the curvature of beams"

montrant clairement cette déformation parasite lorsque l'on courbe une lame.

5 Cette courbure parasite résulte du fait que la matière qui se trouve du côté concave de la lame courbée est comprimée dans la direction X et tend alors à se dilater dans la direction Y, et inversement pour le côté opposé.

10 La propriété d'un matériau de se contracter dans une direction lorsqu'on l'étire dans une direction perpendiculaire est caractérisée par le coefficient de Poisson $\nu = -C_a/C_s$. Ce dernier est donc représentatif de cette déformation anticlastique.

15 Cette déformation anticlastique n'est vraie qu'en deçà d'une courbure imposée C_s limite définie par la relation : $C_s < 4e/L_y^2$ dans laquelle e est l'épaisseur moyenne de l'élément et L_y sa dimension dans la direction Y définie précédemment.

20 Cette condition correspond au domaine de validité de la théorie linéaire dans laquelle les déformations considérées doivent rester faibles vis-à-vis de l'épaisseur de la lame.

25 Au delà de la limite ci-dessus, le phénomène anticlastique disparaît et la courbure redevient parfaitement cylindrique (voir à cet effet le document (2) Int. J. Solids Structures, vol.20, n°6, pp. 553-570, 1984, "Suppression of anticlastic curvature in isotropic and composite plates" de M.W.Hyer et P.C. Bhavani.

30 La théorie mathématique de la courbure anticlastique est en particulier décrite dans le document (3) Journal of Applied Mechanics, 1954 de Y.C. Fung et W.H. Wittrick, "The anticlastic curvature of a strip with lateral thickness variation", pp.351-358. En particulier l'équation 22 de ce document donne la

déformation de la lame en tout point en fonction du rayon de courbure imposé, du coefficient de Poisson du matériau utilisé, de la largeur de la lame et de l'épaisseur de la lame.

5 Dans les monochromateurs à deux cristaux, le premier cristal sélectionne une longueur d'onde du faisceau incident et le second à rayon de courbure réglable sert alors à focaliser le faisceau dans une direction parallèle à celle de ce faisceau incident.

10 Du fait de cette déformation anticlastique, une partie importante du faisceau sélectionnée par le premier cristal peut être absorbée par le second cristal ou réfléchi dans une direction incorrecte. Même un positionnement précis des deux cristaux conduit
15 à une perte d'intensité non négligeable car une partie importante de la surface du deuxième cristal n'est plus parallèle au premier cristal.

Aussi, est-il nécessaire de limiter, voire supprimer, cette déformation anticlastique au moins
20 dans la partie utile du cristal à rayon de courbure réglable.

L'effet de la courbure anticlastique dans un cristal déformable de monochromateur est en particulier décrit dans le document (4) Nuclear
25 Instruments and Method in Physics Research A291 (1990), pp. 209-212 de M.Sanchez del Rio et al., "Ray tracing results for a doubly focusing independent crystal X-ray monochromator".

Différentes méthodes ont été utilisées
30 jusqu'à ce jour pour courber un cristal de monochromateur.

L'une des techniques connues est l'utilisation d'une lame de forme triangulaire tenue sur un des côtés et courbée par déplacement de

l'extrémité opposée. L'emploi d'une lame triangulaire est en particulier décrit dans le document (5) de G.M. Lambie and S.M. Heald de Rev. Sci. Instrum. 63(1), Janvier 1992, "Operation of a dynamically bent sagittally focusing double crystal monochromator for XAFS studies".

L'avantage de cette solution est de permettre d'utiliser un mécanisme de courbure relativement simple.

10 Une autre solution consiste à courber une lame rectangulaire en appliquant un couple par l'intermédiaire de rouleaux placés aux extrémités. Cette dernière méthode, plus difficile à mettre en oeuvre, possède l'avantage sur la précédente de
15 conduire à une déformation symétrique.

Cependant, dans les deux cas, le problème de la déformation anticlastique n'est absolument pas résolu.

Aussi, est-il nécessaire d'ajouter à cette
20 lame, parallèlement à cette forme triangulaire, un grand nombre de nervures sur la lame, parallèles entre elles et à la direction Y de l'axe de révolution de la forme cylindrique idéale de la lame courbée.

Une telle solution est notamment décrite
25 dans le document (6) de C.G. Sparks et al., Nuclear Instruments and Methods 194 (1982), pp.73-78, "Sagittal focusing of synchrotron X-radiation with curved crystals", et dans le document (7) de A.Koyama et al. Rev. Sci. Instrum. 63(1), janvier 1992, "Improvement of
30 a sagittally focusing double crystal monochromator". Dans ce document (7), la lame est en outre triangulaire.

Dans le cas où seules de faibles erreurs de pente (quelques 100 µrad) dans la direction X entre la

forme effectivement prise par la lame et la forme cylindrique idéale peuvent être tolérées, les nervures doivent être fines (largeur $< 200 \mu\text{m}$ pour $C_s = 1\text{m}^{-1}$), ce qui s'avère difficile à réaliser. Soit ces nervures
5 sont gravées dans un cristal massif, ce qui nécessite des techniques de gravure très performantes, soit elles sont collées avec tous les problèmes que cela peut induire tels que la tenue sous rayonnement, le risque de décollement, le risque de pollution du vide utilisé
10 dans le monochromateur, etc.

En plus des difficultés de réalisation de l'ensemble de ces nervures, des erreurs de pente transverses selon la direction X (variations de l'écart entre la lame déformée et la forme idéale) subsistent
15 du fait que la lame plie principalement entre les nervures. Ces erreurs sont imposées par la largeur des nervures ; dans les réalisations actuelles, elle est de l'ordre $0,5 \text{ mrad}$ pour un rayon courbure de 1m et des nervures de 1mm de large.

20 Cette erreur de pente va donc osciller entre deux valeurs extrêmes de façon identique sur toute la lame, entraînant encore une dispersion latérale du faisceau sortant.

Il est donc nécessaire de trouver une autre
25 manière d'éliminer cette déformation anticlastique au moins dans la zone de la lame utile à la réflexion (ou plus exactement à la diffraction).

La déformation anticlastique est due à l'utilisation d'un matériau dont le coefficient de
30 Poisson est non nul. Pour éliminer cette déformation, on pourrait donc envisager l'utilisation d'un matériau à coefficient de Poisson nul ou quasi-nul. Malheureusement, la plupart des matériaux utilisables et d'un coût non prohibitif présentent un coefficient

de poisson non nul. Cette technique n'est donc pas envisageable.

Une autre solution possible, déduite des formules liant la déformation parasite de la lame à son coefficient de Poisson et à la courbure imposée, serait l'utilisation d'une lame extrêmement mince et/ou très longue. Malheureusement ceci conduit à une lame très fragile et à un encombrement incompatible avec la place disponible dans les monochromateurs.

Une autre solution serait d'utiliser une lame d'épaisseur variable dans la direction Y "parallèle" au faisceau incident.

Pour la recherche d'un tel profil, on pourrait envisager de se restreindre à une épaisseur e variant lentement en fonction de y (coordonnée des points de la lame considérée selon la direction Y) de sorte que :

$$(\partial e / \partial y)^2 \ll 1$$

avec $\partial e / \partial y$ représentant la dérivée de l'épaisseur e par rapport à y et envisager alors un calcul direct de la déformée, fonction du profil choisi.

Ce calcul nous ramène à la résolution d'une équation différentielle linéaire du quatrième ordre (voir équation n°22 du document (2)) dont les coefficients dépendent de C_s . Le profil qui annule cette déformation est alors fonction de la courbure C_s .

Cette méthode présente l'avantage de conduire à une bonne correction sur toute la longueur de la lame. Malheureusement, elle ne convient que dans le cas d'une courbure fixe. Or, l'invention s'intéresse aux lames à courbure variable.

L'invention a justement pour objet une lame à rayon de courbure réglable ainsi qu'un monochromateur utilisant cette lame permettant de remédier aux

différents inconvénients mentionnés ci-dessus. En particulier, cette lame présente au moins dans la partie utile une déformation anticlastique négligeable. En outre, sa fabrication est moins délicate que celle
5 des lames à rainures multiples fines.

De façon plus précise, l'invention a pour objet une lame à surface rectangulaire, comportant une partie massive en matériau déformable dans son domaine élastique, la lame étant destinée à être courbée sous
10 forme d'une portion de cylindre à axe de révolution orienté selon une première direction Y, comportant une face concave et une face convexe, caractérisée en ce que deux bords opposés de la partie massive, orientés selon une seconde direction X orthogonale à la première
15 direction, sont pourvus chacun sur toute leur longueur et sur la face convexe d'une nervure, afin d'éviter une déformation anticlastique de la partie massive selon la seconde direction lorsque la lame est courbée.

Lors de la déformation de la lame, ces deux
20 nervures ont tendance à se rabattre vers la surface opposée concave de la lame, ce qui s'oppose à l'effet anticlastique.

Toutes les parties de la lame contribuent à la déformation de la partie utile de la lame qui est en fait la partie centrale. Ainsi, pour augmenter la
25 raideur de la lame sur les bords parallèles à la première direction Y, des rebords massifs peuvent être prévus sur les deux côtés opposés de la partie massive orientés selon cette direction Y. Ces rebords sont
30 notamment destinés à appliquer le moment de flexion conduisant à une courbure sagittale de la lame. Ils présentent une rigidité grande mais non infinie qui doit donc être prise en compte précisément.

Pour des tolérances d'erreur de pente (taux de variation de la différence entre la surface réelle prise par la lame et la forme cylindrique idéale) de quelques secondes d'arc, on peut utiliser une variation progressive de l'épaisseur de la lame, mesurée selon une troisième direction (Z) perpendiculaire aux première et seconde directions, entre les deux nervures, selon la première direction Y.

Avantageusement, la partie centrale de la partie massive est plus épaisse que dans les zones adjacentes aux nervures.

Pour améliorer encore les performances de la lame, sa partie massive peut présenter, selon la seconde direction X, une épaisseur variant progressivement entre les deux rebords.

Etant donné que le calcul direct de l'épaisseur de la lame, destinée à compenser l'effet anticlastique, est rapidement fastidieux, les inventeurs ont eu l'idée de recourir à un programme de calcul par éléments finis, permettant d'optimiser le profil de la lame dans les directions X et Y de sorte que les erreurs de pente restent inférieures à 30µrad pour tout rayon de courbure supérieur à 1,3m de la lame et ceci pour une surface utile de forme elliptique de 30mm environ selon Y et de 60mm selon X.

On obtient ainsi, en section selon la direction Y, la forme d'un W inversé aux sommets arrondis et accessoirement selon la direction X, la forme d'un M.

Les moyens permettant de courber la lame peuvent être divers et en particulier ceux utilisés classiquement dans l'art antérieur. (Voir à ce sujet le document (8) de G.S. Knapp et al., "A simple sagittal

focusing crystal which utilizes a bimetallic strip", Rev. Sci. Instrum. 63(1), janvier 1992, pp.465-567).

Dans l'invention, il suffit d'écarter les rebords massifs latéraux prévus notamment à cette fin.
5 Chaque rebord latéral est munie d'une rainure interne, orientée selon la première direction Y, assurant une meilleure prise pour courber la lame.

La lame de l'invention peut être utilisée dans un grand nombre de dispositifs optiques et en
10 particulier en tant que miroirs à rayon de courbure réglable ou plus spécialement dans un monochromateur en vue de réfléchir et de focaliser un faisceau de particules selon une direction donnée. De façon générale, l'invention s'applique à chaque fois que l'on
15 souhaite obtenir une lame ou une plaque déformable sous forme d'une portion de cylindre à rayon de courbure réglable.

Les matériaux utilisables dans l'invention doivent être déformés dans leur domaine élastique.
20 Ainsi, un matériau très plastique ne marche pas.

Selon l'application envisagée, la partie massive peut être en un métal usinable tel que l'aluminium, les alliages d'aluminium ou en un matériau monocristallin tel que le germanium monocristallin, le
25 silicium monocristallin.

Pour un miroir, on utilisera de préférence un matériau réfléchissant ou un matériau recouvert d'une couche réfléchissante par exemple en Au, Pt, Rh ou Al alors que pour un monochromateur, on utilisera de
30 préférence un matériau monocristallin afin d'assurer la réflexion du faisceau électromagnétique sur les plans cristallins.

Dans l'application particulière à un monochromateur, on peut cependant envisager de réaliser

la partie massive en métal et de recouvrir la surface utile de la lame par un film de matériau monocristallin ; cette surface utile est concave lorsque la lame est courbée.

5 L'épaisseur du film est choisie de 10 à 20 μm . Ainsi, le film monocristallin suit parfaitement la forme imposée à la partie massive. Cette dernière, selon l'application envisagée, a une épaisseur de l'ordre du mm.

10 Bien que la lame de l'invention puisse être utilisée dans un grand nombre d'applications, elle est plus spécialement destinée à équiper un monochromateur.

Aussi, l'invention a encore pour objet un monochromateur servant à sélectionner une longueur
15 d'onde dans un faisceau de particules polychromatique comportant la lame telle que définie précédemment. Dans ce cas particulier, la lame doit comporter au moins une partie en matériau monocristallin en vue de réfléchir la longueur d'onde voulue. En outre, le monochromateur
20 doit être équipé de moyens pour courber la lame sous forme d'une portion de cylindre, la lame étant alors orientée de sorte que les nervures soient perpendiculaires à la direction moyenne du faisceau incident.

25 La seule condition imposée par l'usinage du matériau massif monocristallin ou du film monocristallin à rapporter sur un matériau massif métallique est de prendre la direction (111) du cristal parallèle à la troisième direction Z. Dans la mesure où
30 la taille du cristal le permet, il reste donc un paramètre libre à savoir l'angle entre la direction Y et la projection de (100) dans le plan XY. Cet angle dépend de la symétrie du cristal.

Ainsi, pour le silicium, une rotation de $\pi/6$ autour de la direction (111) permet de conserver les propriétés du cristal. En fait, il n'existe que deux valeurs de cet angle qui conservent les symétries du cristal par rapport aux directions X et Y, à savoir 0 et $\pi/6$.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, données à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un monochromateur à deux cristaux dont le second est une lame à rayon de courbure réglable conformément à l'invention ;

- la figure 2 montre de façon plus précise l'agencement des deux cristaux dans le monochromateur de la figure 1 ;

- la figure 3 représente schématiquement, en perspective et en vue partielle, la lame déformable conforme à l'invention, en position de repos et en position déformée ;

- la figure 4 est un exemple de réalisation des moyens permettant la déformation cylindrique de la lame ;

- les figures 5a à 7b illustrent deux cas particuliers de réalisation d'une lame en Si massif conforme à l'invention : sur les figures 5a et 5b, on a indiqué les dimensions et les côtes des lames en différents points ; les figures 6a et 7a donnent, pour un quart de lame, l'angle que fait la lame, en tout point, par rapport à la forme cylindrique idéale et les figures 6b et 7b donnent les erreurs de pente par rapport à la forme idéale, sous forme de courbes de niveaux, des deux lames ;

- la figure 8 e une variante de réalisation de la lame de l'invention.

La description qui suit se réfère à une lame en silicium monocristallin utilisable dans un monochromateur de rayons X. Mais bien entendu, l'invention est d'application beaucoup plus générale, comme décrit précédemment.

En référence aux figures 1 et 2, un monochromateur comporte, de façon simplifiée, une enceinte à vide 2 contenant un cristal d'entrée 4 de silicium massif monocristallin taillé sous forme d'une lame parallélépipédique et un cristal de sortie 6 constitué d'une lame monocristalline de silicium massif de forme générale parallélépipédique, destinée à être courbée de sorte que la face concave 6a de la lame ainsi courbée soit dirigée vers le cristal 4.

Les cristaux 4 et 6 doivent être positionnés l'un par rapport à l'autre de façon que le faisceau de particules incident 8 (ici un faisceau de rayons X), après réflexion sur la surface inférieure 4a du premier cristal et la surface concave 6a du second cristal 6, ressorte focalisé dans le plan horizontal et selon une direction parfaitement parallèle à la direction incidente. A cet effet, un système mécanique 10 connu est prévu dans l'enceinte pour assurer les mouvements en translation et en rotation des deux cristaux 4 et 6, indépendamment les uns des autres.

Les références 9 et 11 indiquent respectivement les faisceaux réfléchis par les premier et second cristaux.

En entrée et en sortie du monochromateur, on trouve différents systèmes 12 et 14 de protection contre les rayonnements γ et X. Un support 16 de

monochromateur et du système mécanique 10 est en outre prévu.

Enfin, des moyens permettant de déformer la lame cristalline 6 en forme de portion de cylindre sont prévus. Un exemple particulier de réalisation de ces moyens sera décrit ultérieurement en référence à la figure 4.

En l'absence de déformation (figure 2), la lame cristalline 6 comporte deux côtés 20_x orientés parallèlement à une direction X et deux côtés 20_y orientés perpendiculairement à X et parallèlement à une direction Y ; le plan XY est alors parallèle à la surface plane 6a du cristal en position repos. La direction Z est perpendiculaire à ce plan XY et définit la direction de l'épaisseur du cristal.

La direction Y est, comme représenté de façon agrandie sur la figure 3, celle de l'axe de révolution de la forme cylindrique idéale que l'on donne à la lame 6.

Le faisceau réfléchi 9 sur la face 4a du premier cristal arrive sur la surface plane 6a du second cristal 6, selon une direction rasante sensiblement parallèle à la direction Y ; ainsi la projection de la direction de propagation du faisceau 9 sur la surface plane 6a de la lame est parallèle à la direction Y. L'angle θ que fait le faisceau réfléchi 9 avec la surface 6a est donné par la relation $\lambda = 2d/\theta$, où d est la distance entre les plans cristallins utilisés et λ la longueur d'onde choisie.

Conformément à l'invention, les côtés 20_x du cristal 6 sont équipés chacun d'une rainure 22 s'étendant sur toute leur longueur et en bordure de ces côtés. Ces nervures 22 sont formées sur la surface convexe 6b de la lame courbée. Elles ont une épaisseur,

mesure selon la direction Z, qui varie selon la direction Y de sorte que la partie la plus épaisse se situe en bordure de lame.

5 Par ailleurs, entre les deux nervures 22 et selon la direction Y, l'épaisseur de la lame 6 varie progressivement et continûment ; elle présente en section selon Y une forme de W inversé, de forme arrondie. Ainsi, la lame comporte une partie plus épaisse 24 au centre et des parties plus fines 23 entre
10 les nervures 22 et la partie centrale 24.

La surépaisseur 24 est formée, comme les rainures 22, sur la face convexe 6b de la lame courbée.

Cette forme particulière de la lame permet, lors de sa déformation cylindrique, de compenser la
15 déformation anticlastique dans la direction X et d'obtenir une zone utile 26 pour la diffraction sans déformation anticlastique suffisamment importante pour assurer la majeure partie de la réflexion du faisceau incident 9.

20 Conformément à l'invention, la lame 6 comporte en outre, sur toute la longueur de ses côtés 20y, des rebords 28, qui contribuent aussi à l'élimination de la courbure parasite anticlastique selon cette direction X, du fait de leur rigidité.

25 Par ailleurs, l'épaisseur de la lame varie progressivement et continûment, selon la direction X, entre les deux rebords 28, la partie la plus épaisse, en dehors des rebords étant là encore située dans la zone centrale 24. En section selon X, la lame a la
30 forme d'un M.

Le profil particulier de la lame selon les directions X et Y est déterminé à l'aide d'un programme de calcul par éléments finis, appelé logiciel ANSYS™

et en utilisant comme micro-ordinateur un COMPAQ 386/20e.

5 Afin de courber la lame selon une portion de cylindre, une rainure 30 s'étendant sur tout le long des rebords 28 et à l'intérieur des branches du M peut être prévue pour assurer une prise mécanique au système de courbure de lame représenté sur la figure 4.

10 Ce système mécanique de référence générale 32 comporte deux systèmes 34 à parallélogrammes déformables du type cric de voiture. Les extrémités 36 des parallélogrammes prenant appui sur les rebords 28 de la lame sont équipées d'ergots 38 destinés à venir se loger dans les rainures latérales 30. L'actionnement du système mécanique 32 entraîne un écartement des rebords 28 selon la direction X entraînant une déformation cylindrique de la lame 6.

20 Deux exemples d'une lame conforme à l'invention ont été réalisés avec du silicium monocristallin massif. Les caractéristiques du matériau étaient les suivantes :

- module d'Young = $130,2 \cdot 10^9$ Pa,
- coefficient de Poisson = 0,2786
- module de cisaillement = $79,36 \cdot 10^9$ Pa.

25 Ces caractéristiques correspondent aux valeurs $s_{11}=0,768$; $s_{12}=-0,214$; $s_{44}=1,26$ des éléments du tenseur d'élasticité S, exprimé dans le repère associé à la maille cristalline. Les trois directions cristallines du silicium sont alors équivalentes d'un point de vue mécanique.

30 La lame 6 a été usinée de sorte que la direction (111) soit parallèle à la direction Z. En outre, l'angle entre la direction Y et la projection de la direction (100) dans le plan XY a été choisie égale à 0.

Les dimensions et cotes précises de ces deux exemples de lame sont donnés dans le tableau ci-après.

- Comme représenté sur les figures 5a et 5b,
- 5 E représente la largeur selon la direction X des rebords 28 ; H représente la hauteur selon Z de ces rebords ; h représente la distance séparant chaque rainure 30 de la base des rebords 28 ; L représente la longueur de la lame selon la direction X ; l représente
- 10 la largeur de la lame selon la direction Y.

- Les données e_1 , e_2 , e_3 , e_4 , e_5 , e_6 , et T_1 à T_6 donnent l'épaisseur de la lame en différents points. e_1 à e_6 sont donnés selon la direction Y, e_1 étant mesuré en bordure de lame et e_6 au centre A de la lame.
- 15 e_1 à e_6 sont pris selon une direction médiane passant par le centre A de la lame. $T_1 = txe_1$ à $T_6 = txe_6$ sont les épaisseurs de la lame dans la direction X mesurées en bordure des rebords 28, t étant le rapport d'homothétie entre l'épaisseur au centre de la lame sur la direction
- 20 X et l'épaisseur sur les bords de la lame dans une direction parallèle à X : t est choisi dans la gamme allant de 0,3 à 1.

- d est la distance séparant les points aux côtes e_1 et e_2 ; d' est la distance séparant les côtes e_2 et e_3 ainsi que e_3 et e_4 ; d" est la distance
- 25 séparant les côtes e_4 et e_5 ainsi que e_5 et e_6 .

- Les résultats en termes d'erreur de pente entre la forme effectivement prise par la lame et la portion de cylindre idéale, obtenus par le calcul pour
- 30 un rayon de courbure de 1,3m sont donnés sur les figures 6a et 6b en ce qui concerne l'exemple n°1 et sur les figures 7a et 7b en ce qui concerne l'exemple n°2.

Les courbes 6a et 7a donnent l'angle que fait la lame déformée par rapport au cylindre idéal pour un quart de lame, en tout point, (B indique le bord de la lame) et les figures 6b et 7b indiquent les
5 erreurs de pente P dans la direction Y, $\leq 30 \mu\text{rad}$.

La zone I correspond à une erreur de pente entre le cylindre idéal et la forme effectivement prise par la lame, supérieure ou égale à $30 \mu\text{rad}$, les zones II correspondent à une erreur de pente nulle et les
10 différentes courbes de niveau représentées entre ces deux zones ont été tracées à un pas de $3 \mu\text{rad}$.

Les erreurs de pente que l'on cherche à obtenir doivent être de quelques secondes d'arc, c'est-à-dire inférieures 10 secondes d'arc et si possible
15 inférieures ou égales à 2 secondes d'arc, avec 1 seconde d'arc égale à $5 \mu\text{rad}$ environ.

Sur les figure 6a et 7a, la région U correspond à un angle nul entre la lame déformée et le cylindre idéal correspondant. On constate que cette
20 zone U est relativement importante et en tout état de cause suffisante pour effectuer une réflexion du faisceau de particules incident 9 avec une qualité de focalisation et une intensité suffisante.

La zone efficace U, exempte de déformation anticlastique, est légèrement différente entre les
25 figures 6a et 7a. Ainsi, la lame de l'exemple 1 est plutôt destinée à la focalisation d'un faisceau de particule ramassé alors que la lame de l'exemple 2 à un faisceau de particules étendu.

30 Dans certains cas particuliers d'utilisation, on peut envisager, comme représenté sur la figure 8, l'utilisation d'une lame 46 comportant une partie massive 48 métallique (Al ou alliage d'Al-Zn-Mg-Cu par exemple) ayant la même forme que la lame 6

décrite en référence à la figure 3, pourvue sur sa surface 46a destinée à la réflexion du faisceau de particules, d'un film de silicium 50 de 10 à 20µm d'épaisseur taillé de sorte que le faisceau se
5 réfléchisse sur les directions (111) du cristal. La partie métallique a une épaisseur moyenne de 1mm en dehors des rebords et nervures.

10 Du fait de l'épaisseur mince du film de silicium 50, celui-ci suivra parfaitement la déformation imposée à la partie massive métallique 48. L'adhérence du film 50 sur la partie massive 46a peut être assurée par tout moyen connu et par exemple par une fine couche de gallium liquide.

T A B L E A U

EX	E (mm)	H (mm)	h (mm)	L/2 (mm)	1/2 (mm)	e1 (mm)	e2 (mm)	e3 (mm)	e4 (mm)	e5 (mm)	e6 (mm)	d (mm)	d' (mm)	d'' (mm)	t
n°1	11,901	23	3	71,964	37,102	3,5	1,722	0,799	0,859	0,932	1,008	4,394	6,6	8,888	0,7216
n°2	16,668	23	3	69,25	37,52	3,5	1,665	0,711	0,799	0,947	0,983	4,736	6,6	10,083	0,803

REVENDICATION

1. lame à surface rectangulaire (6a),
comportant une partie massive (6, 48) en matériau
5 déformable dans son domaine élastique, la lame étant
destinée à être courbée sous forme d'une portion de
cylindre à axe de révolution orienté selon une première
direction (Y) , comportant une face concave (6a) et une
face convexe (6b), caractérisée en ce que deux bords
10 opposés (20x) de la partie massive, orientés selon une
seconde direction (X) orthogonale à la première
direction, sont pourvus chacun sur toute leur longueur
et sur la face convexe d'une nervure (22), afin
d'éviter une déformation anticlastique de la partie
15 massive selon la seconde direction (X) lorsque la lame
est courbée.

2. lame selon la revendication 1,
caractérisée en ce que la partie massive comporte selon
la première direction (Y) une épaisseur mesurée selon
20 une troisième direction (Z) perpendiculaire à la
première et seconde directions, qui varie
progressivement entre les deux nervures (22).

3. lame selon la revendication 1 ou 2,
caractérisée en ce que la partie massive (6, 46)
25 présente en section selon la première direction (Y) la
forme d'un W inversé.

4. lame selon l'une quelconque des
revendications 1 à 3, caractérisée en ce que des
rebords (28) massifs sont prévus sur deux bords opposés
30 (20y) de la partie massive, orientés vers la face
convexe (6b) selon la première direction (Y).

5. lame selon la revendication 4,
caractérisée en ce que la partie massive présente selon
la seconde direction (X) une épaisseur mesurée selon la

troisième direction (Z) qui varie progressivement entre les deux rebords (28).

5 6. lame selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la partie massive est plus épaisse dans la zone centrale (24) que dans les zones (23) adjacentes aux nervures.

10 7. lame selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisée en ce que l'épaisseur de la lame est déterminée à l'aide d'un calcul par éléments finis qui tient compte du coefficient de Poisson du matériau, de la dimension (1) de la lame selon la première direction (Y) et du rayon du cylindre.

15 8. lame selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, caractérisée en ce que les rebords (28) sont munis chacun d'une rainure (30) interne, orientée selon la première direction (Y) pour assurer une prise sur la lame en vue de la courber.

20 9. lame selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que la partie massive (6, 48) de la lame est en un matériau monocristallin ou en métal.

25 10. lame selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que la partie massive (48) est en métal et en ce qu'un film (50) de matériau monocristallin est déposé sur la surface concave (6b).

30 11. lame selon la revendication 9 ou 10, caractérisée en ce que le matériau monocristallin est du silicium monocristallin.

12. Monochromateur pour sélectionner une longueur d'onde dans un faisceau de particules polychromatique, caractérisé en ce qu'il comprend une lame (6, 48) selon l'une quelconque des revendications

1 1, comportant au moins un matériau monocristallin
(6, 50) destiné à réfléchir ladite longueur d'onde, et
des moyens pour courber la lame sous forme d'une
portion de cylindre, la lame étant orientée de sorte
5 que les nervures (22) soient perpendiculaires à la
direction moyenne dudit faisceau (9).

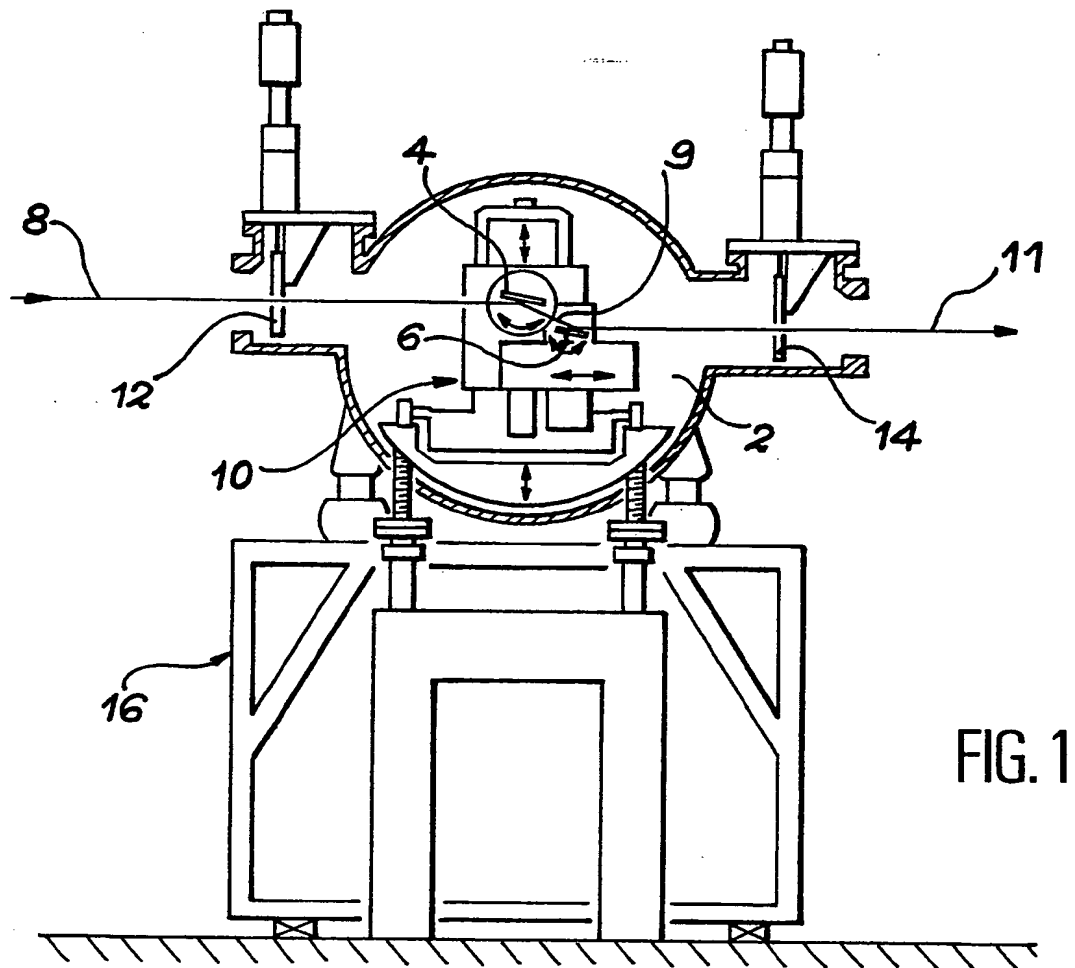


FIG. 1

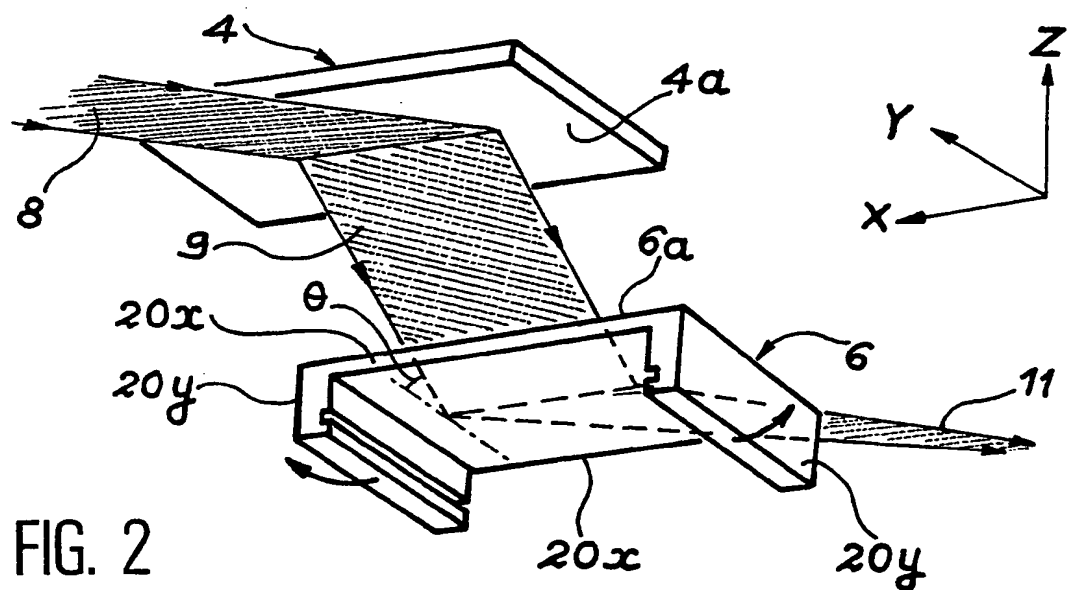
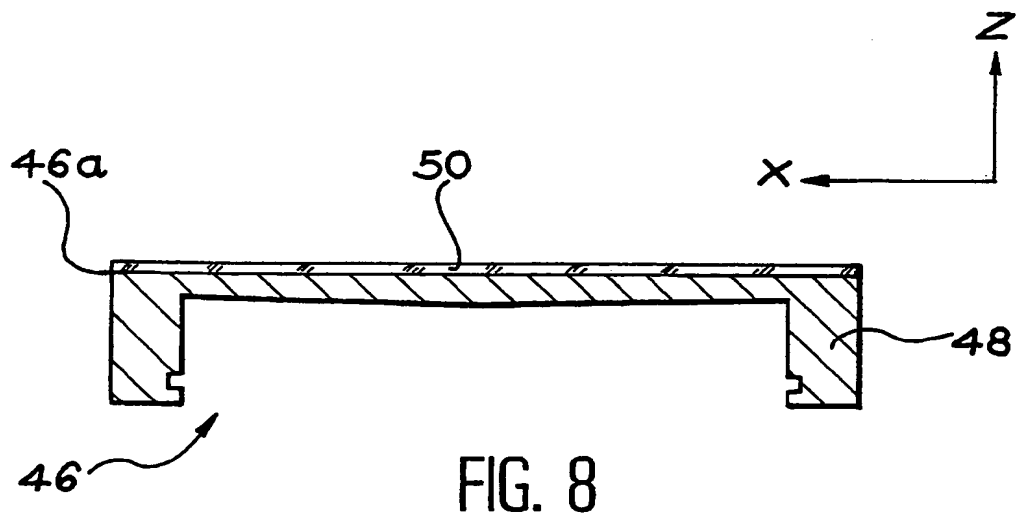
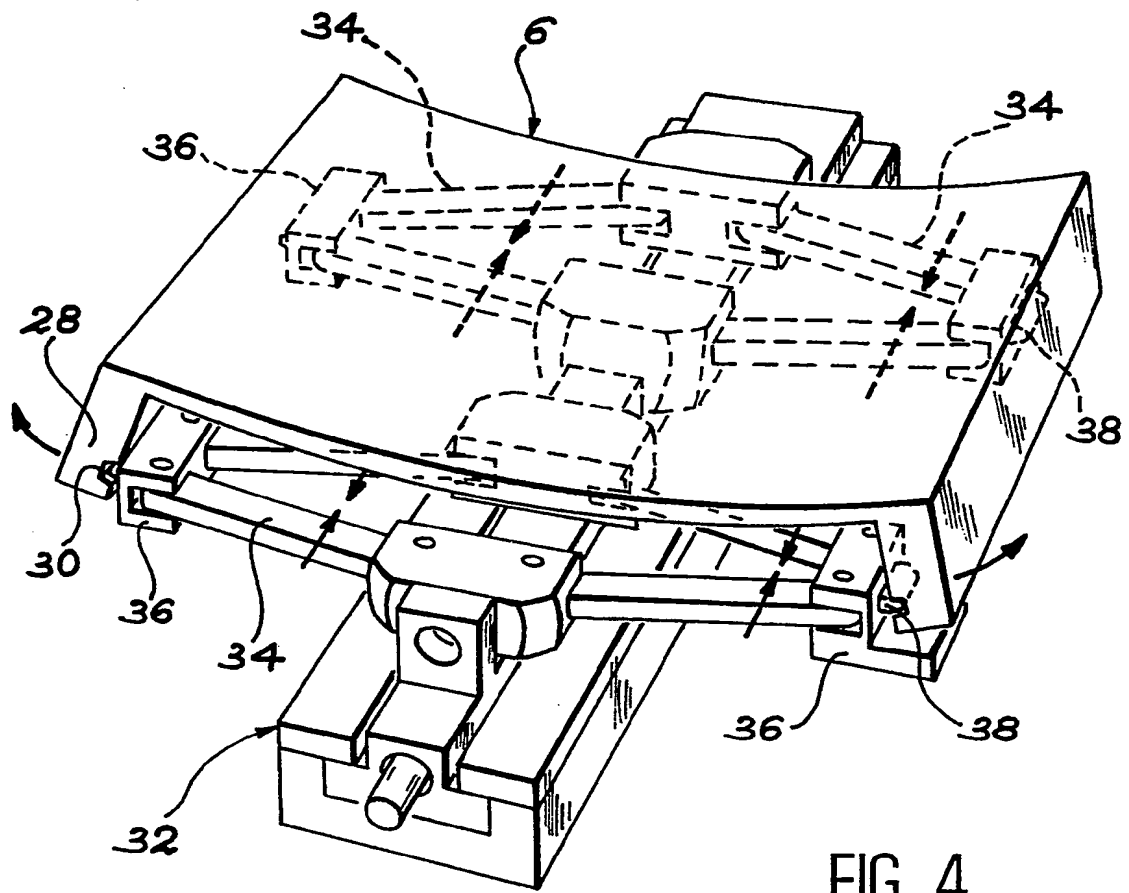
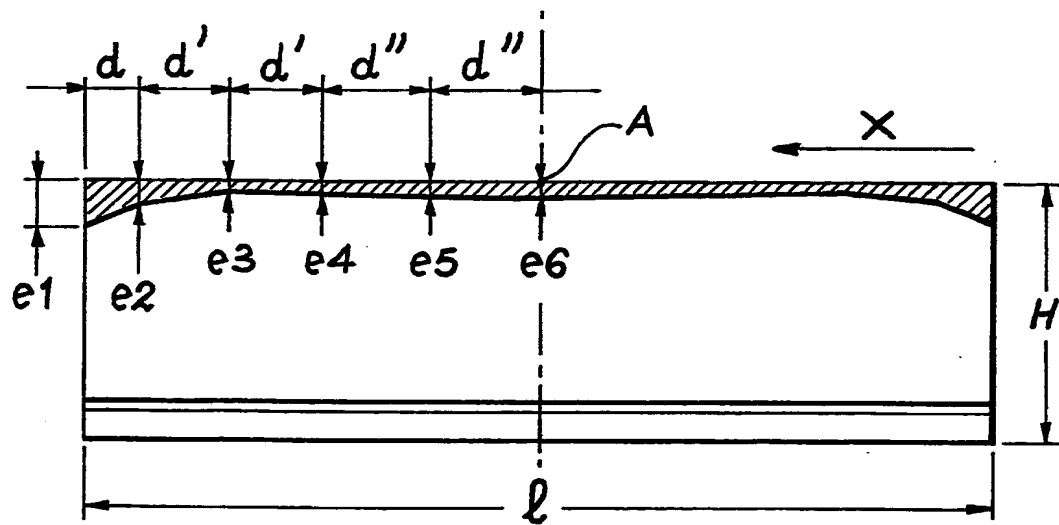
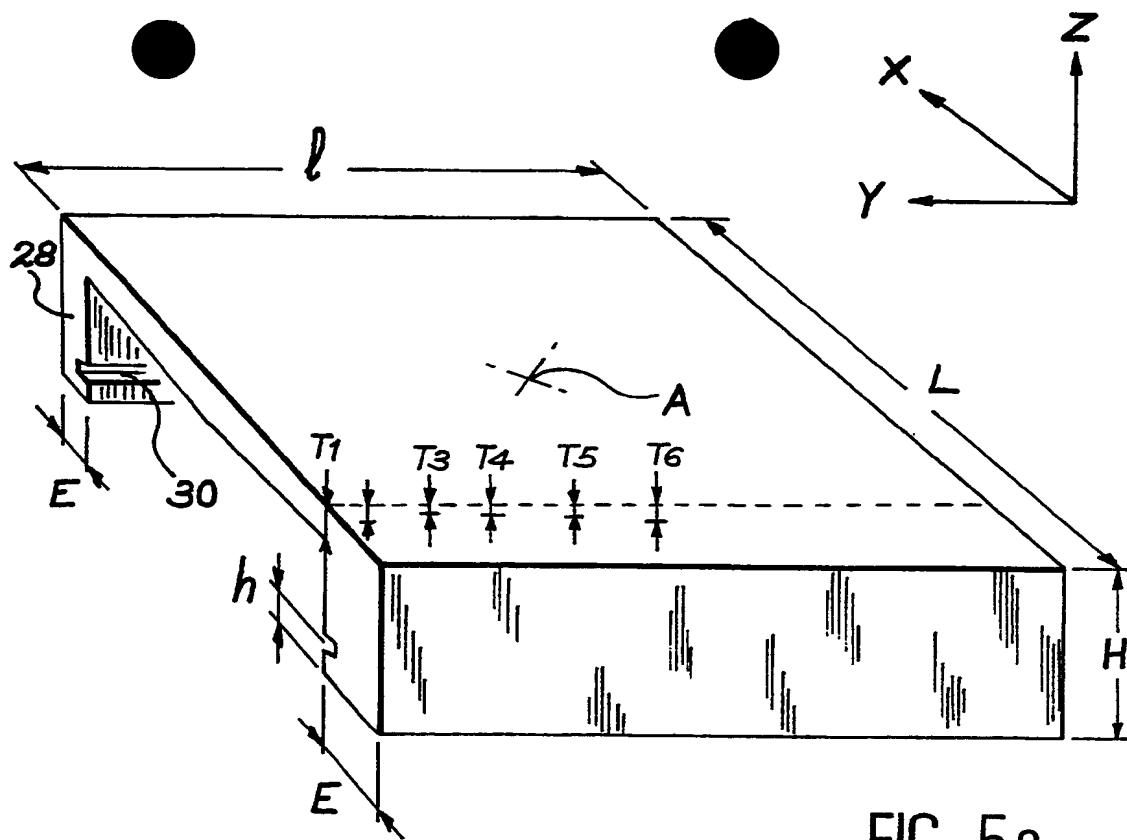


FIG. 2







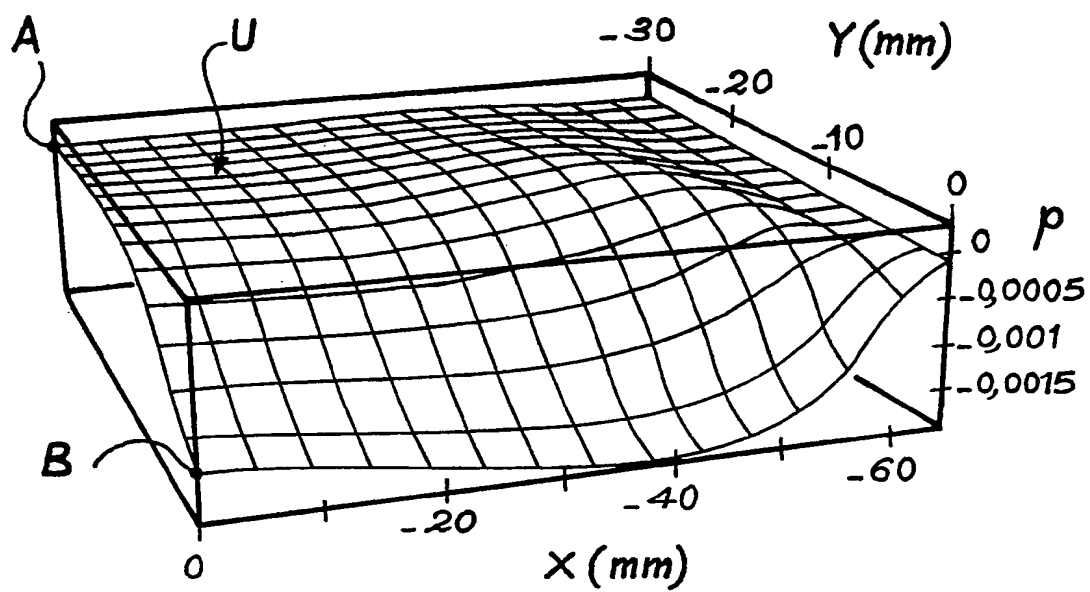


FIG. 6a

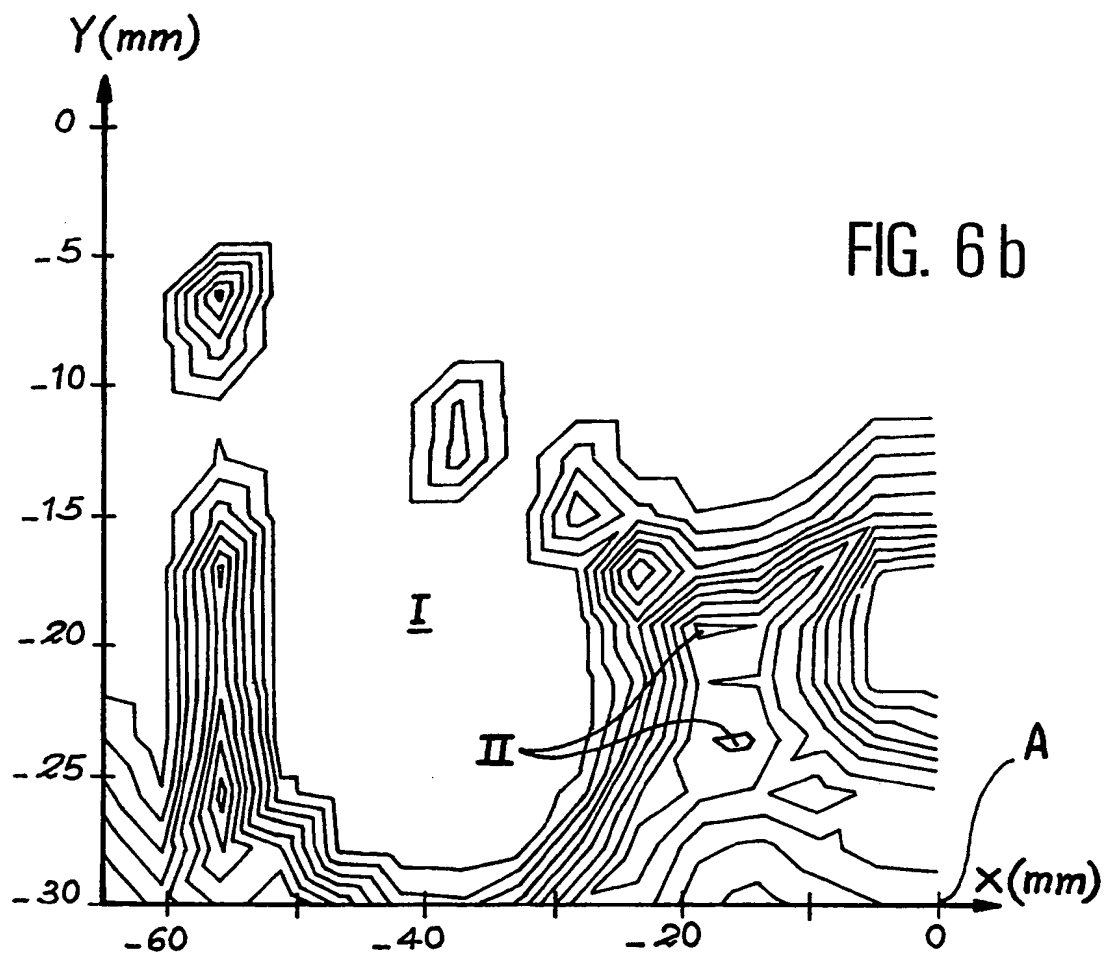


FIG. 6b

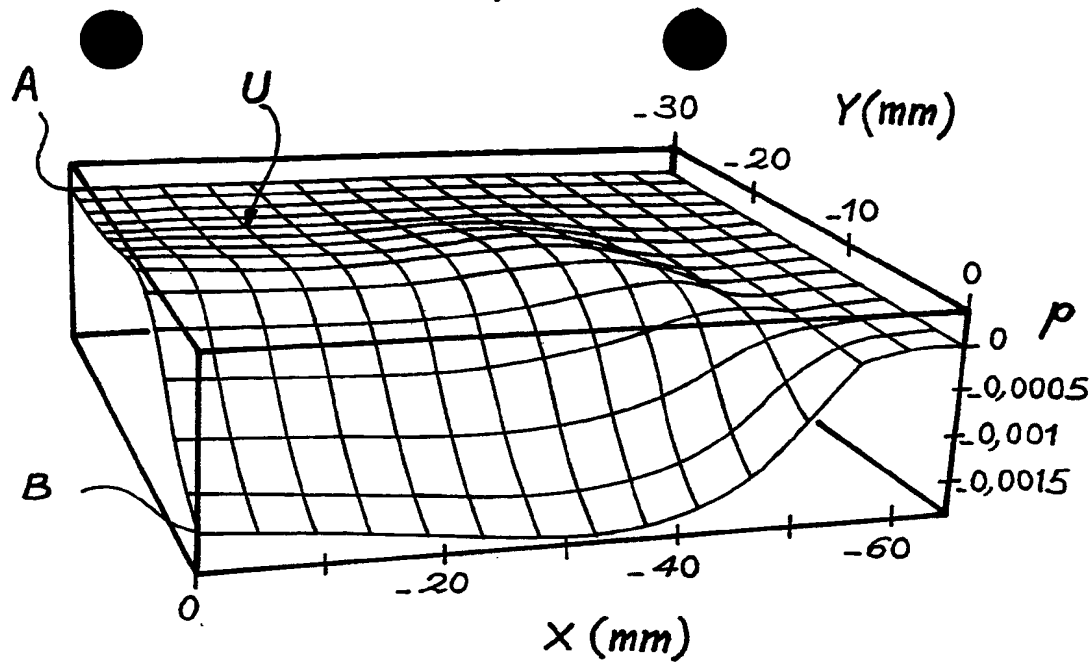


FIG. 7 a

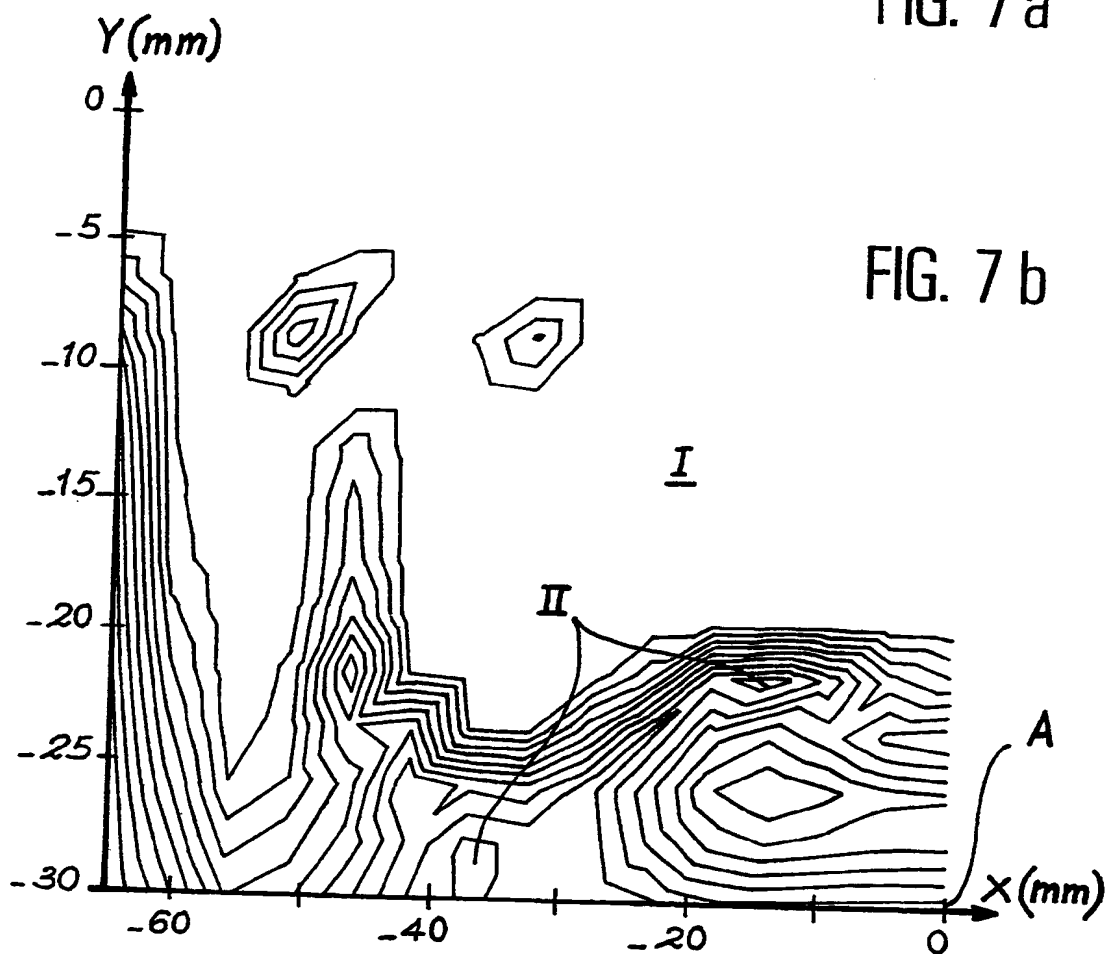


FIG. 7 b

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	US-A-4 461 018 (G.E.ICE ET AL.) * le document en entier *	1,9,11, 12
D,A	REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS vol. 63, no. 1, Janvier 1992, NEW YORK US pages 880 - 884 G.M.LAMBLE ET AL. 'Operation of a dynamically bent sagittally focusing double crystal monochromator for XAFS studies' * page 880 - page 881; figures 1-4 *	1,9,11, 12
D,A	REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS vol. 63, no. 1, Janvier 1992, NEW YORK US pages 916 - 919 A.KOYAMA ET AL. 'Improvement of a sagittally focusing double-crystal monochromator' * page 916; figures 1,2 *	1,9,11, 12
A	NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS vol. A291, no. 1/2, 20 Mai 1990, AMSTERDAM NL pages 300 - 304 J.CHRZAS ET AL. 'MODELING OF THE PERFORMANCE OF WATER-AND LIQUID-GALLIUM-COOLED X-RAY OPTICAL COMPONENTS-A COMPARISON WITH EXPERIMENT' * page 301, colonne de droite; figures 1,2 *	7
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G21K G01J G02B
Date d'achèvement de la recherche		Examinateur
16 Décembre 1993		Scheu, M
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

2

EPO FORM 1503 (03.82 (P4/C13))

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)